

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-120324

(43)Date of publication of application : 12.05.1995

(51)Int.Cl.

G01J 3/51

(21)Application number : 05-264781

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 22.10.1993

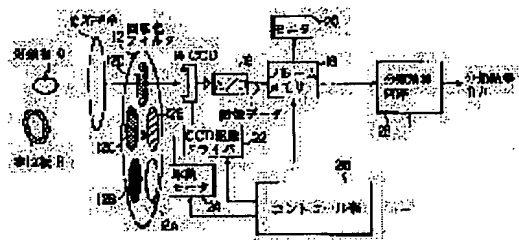
(72)Inventor : KOMIYA YASUHIRO
HIBI YASUSHI

(54) COLOR-CLASSIFYING APPARATUS

(57)Abstract:

PURPOSE: To classify colors well even when a spectrum is changed, with a simple constitution of an apparatus at a low cost while enduring mechanical vibrations or the like without limiting a light source.

CONSTITUTION: A rotary color filter 12 is prepared, which has a plurality of band-pass filters 12A-12E of different band regions. A control part 26 suitably inserts each of the band-pass filters 12A-12E between an object O and CCD 14 by means of a driving motor 24. A classifying/operating circuit 28 calculates a classification spectrum based on a statistic technique from a reflectance spectrum of the object O photographed by the CCD 14, and classifies the object O using the classification spectrum.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 27.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3469619

[Date of registration] 05.09.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-120324

(43) 公開日 平成7年(1995)5月12日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 1 J 3/51

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願平5-264781

(22) 出願日 平成5年(1993)10月22日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 小宮 康宏

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

(72) 発明者 日比 靖

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

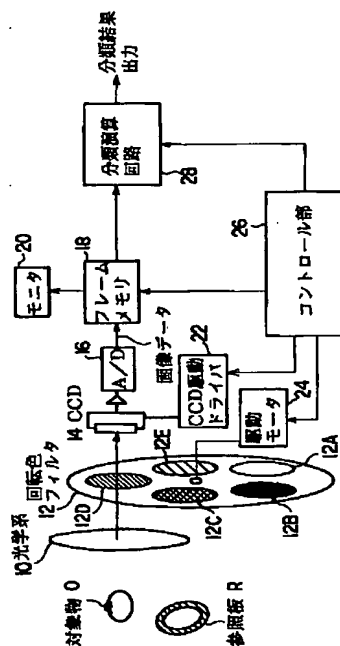
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54) 【発明の名称】 色分類装置

(57) 【要約】

【目的】装置構成が簡単で、低コストで、且つ機械的振動等にも耐えられ、しかも光源を限定せずにそのスペクトルが変化する場合などにも良好に色分類可能な色分類装置を提供すること。

【構成】それぞれ異なる帯域を持つ複数のバンドパスフィルタ12A～12Eを有する回転色フィルタ12を用意しておき、コントロール部26は、駆動モータ24によって、これら複数のバンドパスフィルタのそれぞれを対象物OとCCD14との間に適宜挿入配置する。そして、分類演算回路28は、上記CCD14によって撮像された対象物Oの反射分光スペクトルから統計的手法を用いた分類のための分類スペクトルを算出し、この分類スペクトルを用いて上記対象物Oの分類を行なう。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 対象物の反射分光スペクトルを撮像する撮像手段と、
前記対象物と撮像手段との間に配置したそれぞれ異なる帯域を持つ複数のバンドパスフィルタと、
前記撮像手段によって撮像された対象物の反射分光スペクトルから統計的手法を用いた分類のための分類スペクトルを算出し、この分類スペクトルを用いて前記対象物の分類を行なう分類手段と、
を具備することを特徴とする色分類装置。

【請求項 2】 前記分類手段は、前記対象物を照明する光源のスペクトル特性及び輝度を正規化する正規化手段を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の色分類装置。

【請求項 3】 前記分類手段は、前記撮像手段によって撮像されたクラスが既知の対象物の反射分光スペクトルを記憶する記憶手段と、前記記憶手段に記憶されたクラスが既知の対象物の反射分光スペクトルから前記分類スペクトルを算出する算出手段と、前記算出手段で算出された分類スペクトルを用いて、前記撮像手段で撮像されたクラスが未知の対象物を分類する手段とを具備すること

を特徴とする請求項 1 に記載の色分類装置。
【請求項 4】 前記分類手段は、それぞれ異なるクラスが既知の反射分光スペクトルを予め記憶している複数の記憶手段と、前記記憶手段を適宜選択して記憶されている反射分光スペクトルを出力する選択出力手段と、前記選択出力手段によって出力された反射分光スペクトルから前記分類スペクトルを算出する算出手段と、前記算出手段で算出された分類スペクトルを用いて、前記撮像手段で撮像されたクラスが未知の対象物を分類する手段とを具備することを特徴とする請求項 1 に記載の色分類装置。

【請求項 5】 前記複数のバンドパスフィルタは、予めクラスが既知の対象物の反射分光スペクトルを所定の波長間隔で撮像して得たデータから求められた帯域及び振幅を有するように構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の色分類装置。

【請求項 6】 前記対象物の輝度に応じて、前記複数のバンドパスフィルタのそれぞれの透過率もしくは露光時間を制御する手段を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の色分類装置。

【請求項 7】 前記対象物を照明する光源が限定されている場合、予めクラスが既知の対象物の反射分光スペクトルを撮像し、Foley Sammon 変換を利用して統計処理して分類スペクトルを算出し、この分類スペクトルを近似するよう前記複数のバンドパスフィルタが構成されることを特徴とする請求項 1 に記載の色分類装置。

【請求項 8】 前記複数のバンドパスフィルタは、それぞれ所定数のバンドパスフィルタを有する複数組のフィルタ手段から成り、
前記色分類装置は、

前記対象物を照明する光源と、
前記光源の種類を検出する光源検出手段と、
前記光源検出手段で検出された前記光源の種類に応じて、前記複数組のフィルタ手段の一つを選択的に前記対象物と撮像手段との間に配置する第 1 の切替手段と、
前記第 1 の切替手段によって選択的に配置された前記フィルタ手段の所定数のバンドパスフィルタのそれぞれを前記対象物と撮像手段との間に適宜挿入配置する第 2 の切替手段と、をさらに具備することを特徴とする請求項 1 に記載の色分類装置。

【請求項 9】 前記分類手段は、前記撮像手段によって撮像された対象物の反射分光スペクトルから統計的手法を用いた分類のための分類スペクトルを算出し、該分類スペクトルと前記反射分光スペクトルとの内積値を演算する分類演算手段と、前記分類演算手段からの前記内積値を用いて前記対象物の分類を行なうニューラルネットワークを含む分類判定手段とを有することを特徴とする請求項 1 に記載の色分類装置。

【請求項 10】 前記分類判定手段は、前記撮像手段によってクラス既知の対象物を撮像して学習したニューラルネットワークを利用して分類テーブルを作成するテーブル作成手段と、前記撮像手段によって撮像されたクラス未知の対象物を前記テーブル作成手段によって作成された分類テーブルを用いて分類する手段とを含むことを特徴とする請求項 9 に記載の色分類装置。

【請求項 11】 前記複数のバンドパスフィルタで撮像される画像間のずれを補正するためのマスクフィルタもしくは画像ずれ補正回路をさらに具備することを特徴とする請求項 1 に記載の色分類装置。

【請求項 12】 前記分類手段は、複数クラスの分類に於いて、前記複数クラスの内の任意の 2 クラスを用いた Foley Sammon 変換もしくは Hotelling trace criterion を利用して分類スペクトルを求める手段を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の色分類装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、色を利用して対象物を分類する色分類装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より、各種工業の生産現場に於ける塗装色、染色度の管理、または生産物の色測定、あるいは医療、学術分野に於ける被検体の色測定等に於いては、対象物の色を識別する色識別装置が利用されている。

【0003】 例えば、特開平 3-267726 号公報に開示されている色識別装置では、対象物の反射分光スペクトルに統計的処理を施すことによって 2 クラスの分類を行なっている。具体的には、クラスが既知の対象物の反射分光スペクトルを Foley Sammon 変換 (F S 変換) を

利用して統計処理している (Q.Tian, M.Barbaro 他、

"Image classification by Foley-Sammon transform", Optical Engineering, Vol.25, No.7, 1986参照)。

【0004】ここで、FS変換とは、2つのクラスに分*

$$R(d_i) = (d_i^T S_1 d_i) / (d_i^T S_2 d_i) \quad \dots (1)$$

d_i : 分類スペクトル

d_i^T : 分類スペクトル (転置)

S_1 : クラス間共分散行列

S_2 : クラス内共分散行列

の $R(d_i)$ を最大にするときのスペクトル d_i を求めることである。以後、この分類のためのスペクトル d_i 10
を分類スペクトルと呼ぶ。この分類スペクトル d_i は、
対象物のスペクトルと同じ次元数を有するため、正確に
は $d_i(\lambda)$ と表記すべきであるが、本明細書では、簡※

$$d_1 = \alpha_1 S_2^{-1} \Delta$$

$$d_2 = \alpha_2 S_2^{-1} [I - (\Delta^T S_2^{-1} \Delta) / (\Delta^T S_2^{-1} \Delta) S_2^{-1}] \Delta \quad \dots (2)$$

ここで、 α_1 、 α_2 は正規化係数、 Δ は $X_1 - X_2$ (クラス1とクラス2の差スペクトル)、 I は単位行列である。

【0006】このようにして得た分類スペクトル d_1 、 20
 d_2 で構成される空間に各データを投影するために分類★

$$t_1 = f(\lambda) \cdot d_1$$

$$t_2 = f(\lambda) \cdot d_2$$

ここで、記号「 \cdot 」は内積演算を表す。

【0008】上記公報に開示の装置では、この内積 t_1 、 t_2 の値から図7のように分類境界を決め、この分類スペクトルの特性を有するフィルタを図23に示すように回折格子1と液晶2を用いて実現している。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】ところが、分類スペクトル d_1 、 d_2 は一般に、図24に示すように形状が複雑であり、また、正負の値をとるため、回折格子1、液晶フィルタ2などの取り付け精度も厳しく要求される。従って、装置の移動等にもなる機械的振動により、その取り付け位置がずれると、分類精度が著しく低下してしまう。また、回折格子自体はコストが高いという問題もある。そのため、装置構成が簡単で、低コストで、且つ機械的振動等にも耐えられるような色分類装置が望まれている。

【0010】また、上記公報の装置では、光源をある程度限定している(ランプ3)ため、異なる光源に対しての分類には不向きであり、光源のスペクトルが変化する場合には良好な分類を行なうことが難しい。工場などで色分類を行なう場合には、光源を限定することができるが、光源を限定せずに、そのスペクトルが変化する場合などにも良好に色分類できる装置が望まれている。

【0011】本発明は、上記の点に鑑みてなされたもので、装置構成が簡単で、低コストで、且つ機械的振動等にも耐えられ、しかも光源を限定せずにそのスペクトル 50
が変化する場合などにも良好に色分類可能な色分類装置

* 類する手法であり、具体的には、ある対象物が2つ与えられたときの S_1 、 S_2 からFisher ratio

※ 単のために d_i と記すものとする。そして、Fisher ratioを大きくする分類スペクトルを2種類求める。Fisher ratioを最大にする分類スペクトル d_i を d_1 、この d_1 と直交するスペクトルの中でFisher ratioを最大にする分類スペクトル d_i を d_2 とする。この分類スペクトル d_1 、 d_2 で構成される空間に各データを投影することにより、2つのクラスが分類される。分類スペクトル d_1 、 d_2 は次式から求める。

【0005】

★ スペクトルと対象物の反射分光スペクトルとの内積を求める。対象物の反射分光スペクトルを $f(\lambda)$ (但し、 λ =波長)とすれば、内積 t_1 、 t_2 は次式で表せられる。

【0007】

... (3)

を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明による色分類装置は、対象物の反射分光スペクトルを撮像する撮像手段と、上記対象物と撮像手段との間に設置したそれぞれ異なる帯域を持つ複数のバンドパスフィルタと、上記撮像手段によって撮像された対象物の反射分光スペクトルから統計的手法を用いた分類のための分類スペクトルを算出し、この分類スペクトルを用いて上記対象物の分類を行なう分類手段とを備えることを特徴としている。

【0013】

【作用】即ち、本発明の色分類装置によれば、それぞれ異なる帯域を持つ複数のバンドパスフィルタを用意しておき、これら複数のバンドパスフィルタのそれぞれを上記対象物と撮像手段との間に配置する。そして、分類手段によって、上記撮像手段によって撮像された対象物の反射分光スペクトルから統計的手法を用いた分類のための分類スペクトルを算出し、この分類スペクトルを用いて上記対象物の分類を行なう。

【0014】

【実施例】本発明の実施例を説明する前に、本発明の理解を助けるために、まず本発明の原理から説明する。本発明では、分類のためのフィルタを、従来の装置のような回折格子及び液晶フィルタで構成するのではなく、図2の(A)に示すような特定の波長のみを透過させるようなバンドパスフィルタを複数組み合わせた同図の

(B)や(C)に示すようなフィルタを用いることにより、簡易で安価な構成の色分類装置を実現するものである。

【0015】また、異なる光源のもとでも色分類を行なうために、対象物を撮影するときと同じ条件で、適当な参照板の反射分光スペクトルを計測し、対象物の反射分光スペクトルを参照板の反射分光スペクトルで補正することによって、光源(照明光)の影響を除去するようにしている。即ち、 λ を波長として、対象物の反射分光ス

$$g_i'(\lambda) = g_i(\lambda) / g_s(\lambda) = f(\lambda) / s(\lambda) \quad \cdots (4)$$

と表すことができる。

【0016】こうして、照明光の反射分光スペクトル $L(\lambda)$ の影響を除去でき、 $g_i'(\lambda)$ を用いれば、異なる光源のもとでも分類できることになる。また、さらに照明光の輝度が異なる場合には、除去後の信号 $g_i'(\lambda)$ のパワーを正規化すれば良い。

【0017】以下、図面を参照して、本発明の実施例を説明する。

【第1実施例】まず、本発明の第1実施例として、2クラスの対象物の分類を行なう色分類装置について説明する。

【0018】図1は、その構成を示す図で、本実施例の色分類装置は、絞りやレンズを含む光学系10、図2の(A)に示されるような複数枚のバンドパスフィルタ12A、12B、…、12Eで構成される回転色フィルタ12、対象物O及び参照板Rの画像を取り込むためのCCD14、A/D変換器16、フレームメモリ18、撮影している部分を表示するモニタ20、CCD駆動ドライバ22、回転色フィルタ12の駆動モータ24、CCD駆動ドライバ22及び回転色フィルタ駆動モータ24等を制御すると共に分類演算回路28に命令を送るコントロール部26、分類を行なうための分類演算回路28から構成される。

【0019】上記回転色フィルタ12は、図2の(B)に示すように、何種類かのバンドパスフィルタ12A～12Eから構成されており、各フィルタは同図の(A)に示すような任意のバンド幅を透過するような特性を持っている。本実施例では、図面及び説明の簡単化のため5枚のバンドパスフィルタで回転色フィルタ12を構成している。なお、光学系10と回転色フィルタ12の配置は、光学系10の前に回転色フィルタ12を配置する

ような逆の配置でも良い。

【0020】上記分類演算回路28は、図3に示すように、対象物Oの輝度成分を抽出するための輝度成分抽出部30、分類のための演算(FS変換等)を行なう分類演算部32、及び分類判定のための学習及び分類判定を行なう分類判定部34から成る。

【0021】ここで、上記輝度成分抽出部30は、図4に示すように、撮影した画像の対象物O及び参照板Rの測定領域を抽出する3個の測定領域抽出部36A、36

*ベクトルを $f(\lambda)$ 、参照板の反射分光スペクトルを $s(\lambda)$ 、照明光の反射分光スペクトルを $L(\lambda)$ 、撮影系の感度スペクトル(撮影レンズの透過スペクトル、撮像素子の感度スペクトル等)を $M(\lambda)$ とすれば、対象物の撮影スペクトル $g_i(\lambda)$ 、及び参照板の撮影スペクトル $g_s(\lambda)$ はそれぞれ、

$$g_i(\lambda) = f(\lambda) \times L(\lambda) \times M(\lambda)$$

$$g_s(\lambda) = s(\lambda) \times L(\lambda) \times M(\lambda)$$

で表せられ、対象物のスペクトル $g_i'(\lambda)$ は、

$$g_i'(\lambda) = g_i(\lambda) / g_s(\lambda) = f(\lambda) / s(\lambda) \quad \cdots (4)$$

B、36W、測定した輝度成分の平均を求める3個の輝度成分平均化部38A、38B、38W、撮影したクラス1またはクラス未知のデータの輝度成分を書き込む輝度成分メモリ“A”40A、撮影したクラス2のデータの輝度成分を書き込む輝度成分メモリ“B”40B、撮影した参照板Rのデータの輝度成分を書き込む輝度成分メモリ“W”40W、光源の影響を補正するための補正回路42、補正したクラス1又はクラス未知のデータを書き込む輝度スペクトルメモリ“dta”44A、及び補正したクラス2のデータを書き込む輝度スペクトルメモリ“dtb”44Bを有している。

【0022】上記輝度成分メモリ40A、40B、40Wは、回転色フィルタ12を構成するバンドパスフィルタの枚数(本実施例では、5枚)分だけの輝度成分を書き込むことができるようになっている。

【0023】上記補正回路42は、図5の(A)に示すように除算器42₁、または同図の(B)に示すように除去器42₁とパワー正規化回路42₂により構成される。以下の本実施例の説明では、同図の(B)に示した構成として説明を行うものとする。

【0024】上記輝度スペクトルメモリ44A、44Bは、撮影するデータのサンプル数Nだけの輝度成分(各輝度成分はフィルタ枚数個のデータからなる)を書き込むことができるようになっている。

【0025】一方、上記分類演算部32は、図5の(C)に示すように、切り替えスイッチ“A”46、分類スペクトルを求める分類スペクトル算出部48、分類スペクトルd1を書き込む分類スペクトルd1メモリ50、分類スペクトルd2を書き込む分類スペクトルd2メモリ52、切り替えスイッチ“B”54、積算器56、加算器58Aとラッチ58Bで構成され累積加算を行なう累積演算部58とによって構成されている。

【0026】また、上記分類判定部34は、同図に示すように、切り替えスイッチ“C”60、分類境界を決定する分類境界決定部62、決定した分類境界を書き込む分類境界メモリ“cl”64、分類判定を行なう分類決定部66から構成されている。

【0027】次に、以上のような構成の色分類装置を使い、2クラスの対象物を分類する処理について説明する。この処理では、まず分類境界を求めるための学習モ

ードを実行し、次にクラス未知のデータの色分類を行なうための分類モードを行なう。

【0028】まず、学習モードについて説明する。これは、図6に示すような2クラスの対象物Oを分類するための分類スペクトルを求めるものである。最初に、コントロール部26は、光学系10の方向及び焦点距離を、2クラスの対象物を同時に撮像できるように調節する。そして、図示しない合焦調節機構により合焦調節を行うと共に、図示しない測光器により測光し光学系10の絞り及びCCD14の露光時間を設定する。

【0029】ここで、回転色フィルタ12の第1のバンドパスフィルタ（例えば、12A）で撮影が行なわれるように、回転色フィルタ12の位置を制御する。そして、CCD駆動ドライバ22に撮影コマンドを送ることによって第1の画像を撮影する。CCD14で取り込み、A/D変換器16でA/D変換された画像データは、フレームメモリ18に転送され格納される。そして、分類演算回路28にフレームメモリ18に格納された画像データを読み込ませる。

【0030】分類演算回路28に於いては、画像データは、まず、輝度成分抽出部30へ転送される。この輝度成分抽出部30に於いては、各画像について、測定領域抽出部36A、36Bにて、取り込んだ各画像データのなかでそれぞれクラス1、クラス2に対応する分類対象領域を抽出し、その各画素ごとに輝度成分を抽出する。そして、輝度成分平均化部38A、38Bにて、各領域での輝度の平均値を検出し、輝度成分メモリ40A、40B

$$da^m i' = da^m i / dwi$$

$$db^m i' = db^m i / dwi$$

この演算により、異なる光源（スペクトル特性）の影響を除去できる。ここで、iはフィルタ番号、mはサンプル番号を示す。

【0035】さらに、パワー正規化回路42、にて、上※

$$da^m i'' = da^m i' / Ca^m$$

$$db^m i'' = db^m i' / Cb^m$$

ここで、パワー値 Ca^m 及び Cb^m は、

【0036】

$$Ca^m = \sum_{i=1}^N da^m i'$$

$$Cb^m = \sum_{i=1}^N db^m i'$$

または、

【0037】

*0Bに書き込む。これを、データ $da1$ 、 $db1$ とする。

【0031】次に、回転色フィルタ12を回転し、第2のフィルタ（例えば、12B）で第2の画像を撮影し、同様に平均値を輝度成分メモリ40A、40Bに書き込む。これを、データ $da2$ 、 $db2$ とする。

【0032】このような操作を、第5のフィルタ（例えば、12E）まで行ない、輝度成分メモリ“A”40Aにデータ $da3$ 、 $da4$ 、 $da5$ を、また輝度成分メモリ“B”40Bにデータ $db3$ 、 $db4$ 、 $db5$ を書き込む。即ち、この一連の操作で、輝度成分メモリ“A”40Aにはデータ $da i$ （但し、 $i=1\sim5$ ）を、輝度成分メモリ“B”40Bにはデータ $db i$ （ $i=1\sim5$ ）を書き込む。

【0033】次に、対象物の近傍に参照板Rを配置し、同様に5種類のフィルタで撮影し、輝度成分メモリ“W”40Wにデータ dwi （ $i=1\sim5$ ）を書き込む。その後、補正回路42では、クラス1については輝度成分メモリ“A”40Aと輝度成分メモリ“W”40Wから、またクラス2については輝度成分メモリ“B”40Bと輝度成分メモリ“W”40Wから、データを読み出して補正を行なう。この補正は、まず各フィルタ成分ごとに輝度成分メモリ“A”40Aのデータを輝度成分メモリ“W”40Wのデータで除算器42、にて次式のように除算する。

【0034】

$$(但し、i=1\sim5, m=1\sim N)$$

$$(但し、i=1\sim5, m=1\sim N)$$

$$\dots (5) a$$

※記除算されたデータのパワー値が一定化されるように、パワー値 Ca^m 及び Cb^m により次式の演算が行なわれる。

$$(但し、i=1\sim5, m=1\sim N)$$

$$(但し、i=1\sim5, m=1\sim N)$$

$$\dots (5) b$$

★【数1】

★

$$\dots (5) c$$

【数2】

$$C a^m = \sum_{i=1}^N (d a^m i')^2$$

... (5)d

$$C b^m = \sum_{i=1}^N (d b^m i')^2$$

である。このパワー正規化により、光源の輝度が異なる場合の影響を除去できる。

【0038】このようにして求められた $d a^m i'$ 及び $d b^m i'$ を、輝度スペクトルとして輝度スペクトルメモリ“dta”44A及び“dtb”44Bに書き込む。以上の補正を、対象物のサンプル数Nだけ行ない、輝度スペクトルメモリ“dta”44A及び“dtb”44Bに輝度スペクトルを書き込む。この際、対象物のサンプルは、対象物そのものを交換しても良いし、同一対象物の異なる領域を利用しても良い。このようにして、輝度スペクトルメモリ“dta”44A、“dtb”44Bには、対象物のサンプル数Nだけの輝度スペクトルデータが書き込まれることになる。

【0039】また、同時に、2つのクラスの対象物を撮影できない場合は、1つのクラス毎に対象物、参照板について上記と同様に撮影及び補正を行い、それぞれ輝度スペクトルメモリ“dta”44A及び“dtb”44Bにそれぞれの輝度スペクトルを書き込む。この操作をサンプル数Nだけ行なうようにする。

【0040】次に、分類演算部32では、切り替えスイ

$$t a^m l = \sum_{i=1}^5 (d a^m i' \times d l i) \quad \dots (6)$$

を行ない、結果を分類判定部34の分類境界決定部62へ転送する。続いて、輝度スペクトルメモリ“dtb”44Bから輝度スペクトルデータ $d b^m i'$ を、また分類スペクトルd1メモリ50から分類スペクトルデータd1i※

$$t b^m l = \sum_{i=1}^5 (d b^m i' \times d l i) \quad \dots (7)$$

を行ない、結果を分類境界決定部62へ転送する。

【0044】次に、切り替えスイッチ“B”54をb側に切り替えて、輝度スペクトルメモリ“dta”44Aから輝度スペクトルデータ $d a^m i'$ を、また分類ス

★ルd2メモリ52から分類スペクトルデータd2iを読み出して、内積演算

【0045】

【数5】

$$t a^m 2 = \sum_{i=1}^5 (d a^m i' \times d 2 i) \quad \dots (8)$$

を行ない、結果を分類境界決定部62へ転送する。続いて、輝度スペクトルメモリ“dtb”44Bから輝度スペクトルデータ $d b^m i'$ を、また分類スペクトルd2メモリ52から分類スペクトルデータd2iを読み出して、☆

☆内積演算

【0046】

【数6】

$$t b^m 2 = \sum_{i=1}^5 (d b^m i' \times d 2 i) \quad \dots (9)$$

＊ッチ“A”46をb側に切り替える。そして、輝度スペクトルメモリ“dta”44A及び“dtb”44Bからそれぞれクラス1及びクラス2に係る輝度スペクトルデータを読み出し、分類スペクトル算出部48にて、前述したFS変換を用いて分類スペクトルd1i(但し、 $i=1 \sim 5$)、及びこれに直交するd2i($i=1 \sim 5$)を求め、それぞれ分類スペクトルd1メモリ50及びd2メモリ52にそれぞれ分類スペクトルd1i及びd2iを書き込む。

【0041】次に、切り替えスイッチ“A”46をa側に、また分類判定部34の切り替えスイッチ“C”60をb側に切り替える。そして、切り替えスイッチ“B”54をa側に切り替えて、輝度スペクトルメモリ“dta”44Aから輝度スペクトルデータ $d a^m i'$ を、また分類スペクトルd1メモリ50から分類スペクトルデータd1iを読み出して、積算器56及び累積演算部58により内積演算

【0042】

【数3】

30※を読み出して、同様に内積演算

【0043】

【数4】

11

を行ない、結果を分類境界決定部62へ転送する。

【0047】このように、各クラスについてサンプル数分だけ処理を行ない、こうして得た分積値を分類境界決定部62で図7のように分類境界を決定し、分類境界メモリ“cl”64に書き込む。

【0048】以上、ここまでが、学習モードである。次に、分類モードについて説明する。この分類モードでは、まず、図8に示すような分類したいクラス未知の対*

$$dx_i' = dx_i / dw_i \quad (\text{但し、} i = 1 \sim 5) \quad \dots (10)$$

を行ない、更にパワー正規化回路42、にて上記除算さ

れたデータのパワー値が正規化されるように

$$dx_i'' = dx_i' / C_x \quad (\text{但し、} i = 1 \sim 5)$$

$$C_x = \sum_{i=1}^5 dx_i'$$

を行い、輝度スペクトルメモリ“dta”44Aに輝度スペクトル dx_i'' を書き込む。

【0050】ここで、分類演算部32では、切り替えスイッチ“A”46をa側に切り替え、分類判定部34では、切り替えスイッチ“C”60をa側に切り替える。そして、分類演算部32の切り替えスイッチ“B”54をまずa側に切り替えて、輝度スペクトルメモリ“dt

$$tx_1 = \sum_{i=1}^5 (dx_i'' \times d1_i) \quad \dots (11)$$

を行ない、 tx_1 を分類判定部34の分類決定部66へ転送する。

【0052】次に、切り替えスイッチ“B”54をb側に切り替えて、輝度スペクトルメモリ“dta”44Aから輝度スペクトル dx_i'' を、また分類スペクトルd2メ

$$tx_2 = \sum_{i=1}^5 (dx_i'' \times d2_i) \quad \dots (12)$$

を行ない、 tx_2 を分類決定部66へ転送する。

【0054】そして、分類決定部66は、分類境界メモリ“cl”64から分類境界を読み出して、このデータより、上記転送されてきた内積値 tx_1 、 tx_2 が分類境界のどちら側にあるかを判定し、分類結果を出力する。

【0055】ここまでの操作が、分類モードである。以上のように、本実施例では、光源のスペクトル特性の相違を除算器42、にて、また輝度の相違をパワー正規化回路42、にて補正するために、異なる光源についても良好な分類を行うことができる。この際に、さらに図5の(B)に示すように、パワー正規化回路42、を用いているために、光源の輝度が変化する場合に於いても良好な分類を行なうことができる。なお、光源のスペクトルが変化せずに、輝度のみが変化する場合には、除算回路42、は不要で、パワー正規化回路42、だけで良い。

12

*象物Oを、学習モードのときと同様に撮影し、輝度成分メモリ“A”40Aに輝度スペクトル dx_i (但し、 $i = 1 \sim 5$)を書き込む。続いて、これと同じ撮影条件で、参照板Rを同様に撮影し、輝度成分メモリ“W”40Wに輝度スペクトル dw_i (但し、 $i = 1 \sim 5$)を書き込む。そして、これら輝度成分メモリ“A”40A及び“W”40Wからデータを読み込んで、補正回路42で補正

※【0049】

※【数7】

★a”44Aから輝度スペクトル dx_i'' を、また分類ス

ペクトルd1メモリ50から分類スペクトルデータd1iを

読み出して、積算器56及び累積演算部58により内積

演算

【0051】

【数8】

☆メモリ52から分類スペクトルデータd2iを読み出して、

内積演算

【0053】

【数9】

【0056】また、回転色フィルタ12を用いた簡単な

構成であるため、安価で機械的振動等にも頑健になる。

また、学習モードと分類モードを有することから、異なる

分類目的にも容易に対応することができる。

【0057】さらに、図9の(A)に示すように、分類

演算部32を、既に学習済みの分類スペクトルd1i、d

2iを記憶する分類スペクトルd1、d2メモリ50、5

2の対とそれらを選択するための切り替えスイッチ

“B”54との組を複数設け、それぞれの組の分類ス

ペクトルd1、d2メモリ50、52に異なる学習済みの

分類スペクトルを記憶しておき、各組を選択するための

切り替えスイッチ“C”68を利用するようにすれ

ば、異なる分類目的にも瞬時に対応することができる。

また、回転フィルタ12を交換するようにしてもよいの

も勿論である。

50 【0058】なお、本実施例では回転色フィルタ12と

して、図2の(B)に示すように、円形のフィルタ12 A~12 Eを同一円上に配置した構成のものを用い、各フィルタで停止させるため各フィルタ毎にその位置を制御するようにしているが、図2の(C)に示すように、フィルタ12 A~12 Eを円弧状に構成し、それらを同一円上に配列してなる回転色フィルタ12を用いれば、各フィルタ毎に停止させ位置制御する必要がなくなり、常に動かし続けることができるので、より高速に分類処理を行なえる。ただし、当然のことながら、この場合は、CCD14での露光のタイミングと回転色フィルタ12の回転のスピードとの同期をとる必要がある。

【0059】また、本実施例では撮像素子としてCCD14を1つだけ用いたが、図10に示すように、複数個の撮像素子14と光路分割手段70を用いて構成しても良いのは当然である。

【0060】また、分類した結果は、分類されたクラスに応じて異なる色の画像として表示しても良いし、音声等で撮影者に知らせるようにしても良い。

【第2実施例】次に、本発明の第2実施例として、多クラス(nクラス)のものの分類を行なう色分類装置について説明する。本実施例の色分類装置は、前述した第1実施例と同様の構成を有しており、輝度成分抽出部30の内部構成のみが異なっている。

【0061】即ち、輝度成分抽出部30は、図11に示すように、撮影した画像の対象物Oの測定領域を抽出する対象物の測定領域抽出部36₁~36_n、36Wと、測定した輝度成分の平均を求める輝度成分平均化部38₁~38_n、38Wと、撮影したクラス1またはクラス未知のデータの輝度成分を書き込む輝度成分メモリ“1”40₁、撮影したクラス2のデータの輝度成分を書き込む輝度成分メモリ“2”40₂、…、撮影したクラスnのデータの輝度成分を書き込む輝度成分メモリ“n”40_n、撮影した参照板Rのデータの輝度成分を書き込む輝度成分メモリ“W”40Wとを有している。これらの輝度成分メモリ“1”40₁~“n”40_n及び輝度成分メモリ“W”40Wは、回転色フィルタ12を構成するフィルタの枚数(5枚)分だけの輝度成分を書き込むことができる容量を有している。

【0062】また、この輝度成分抽出部30は、さらに、光源の影響を補正するための補正回路42と、補正したクラス1のデータを書き込む輝度スペクトルメモリ“dt1”44₁、補正したクラス2のデータを書き込む輝度スペクトルメモリ“dt2”44₂、…、補正したクラスnのデータを書き込む輝度スペクトルメモリ“dtn”44_nとを有している。これらの輝度スペクトルメモリ“dt1”44₁~“dtn”44_nはそれぞれ、撮影するデータのサンプル数Nだけの輝度成分(各輝度成分はフィルタ枚数個のデータからなる)を書き込むことができる容量を有している。

【0063】このような構成の色分類装置では、前述の

第1実施例と同様に、まず分類境界を求めるための学習モードを実行し、次にクラス未知のデータの色分類を行なうための分類モードを行なう。

【0064】まず、学習モードについて説明する。多クラスの対象物の内の任意の2クラスの対象物について、上記第1実施例と同様に撮影、補正し、輝度スペクトルメモリ“dt1”44₁、“dt2”44₂に輝度スペクトルd a^{*} i^{*}、d b^{*} i^{*}を書き込む。そして、上記第1実施例と同様にFS変換を利用して分類スペクトルd1i(但し、i=1~5)、d2i(i=1~5)を求め、図5の(C)の分類スペクトルd1、d2メモリ50、52に書き込む。続いて、残りのn-2クラスの対象物についても、上記第1実施例と同様に撮影、補正し、輝度スペクトルメモリ“dts”44に輝度スペクトルd s^{*} i^{*}(但し、s=3~n、i=1~5)を書き込む。ここで、sはクラス番号、mはサンプル番号、iはフィルタ番号とする。このようにしてクラス1からクラスnまでの対象物について、各輝度スペクトルメモリ“dts”44に書きこまれた輝度スペクトルd s^{*} i^{*}と分類スペクトルd1i、d2iを用いて、分類境界を求める。分類境界を求めるために、上記第1実施例と同様の操作をして、各クラスの対象物の輝度スペクトルd s^{*} i^{*}について分類スペクトルd1iとの内積値t s1(但し、s=1~n)及びd2iとの内積値t s2(s=1~n)を求め、分類境界決定部62へ転送する。そして、この転送された内積値を分類境界決定部62で図9の(B)に示すように分類境界を決定し、分類境界メモリ“c1”64に書き込む。

【0065】以上ここまでが、学習モードである。次に、分類モードについて説明する。即ち、前述の第1実施例と同様に、分類したい対象物Oを撮影、補正し、輝度スペクトルメモリ“dt1”44₁に輝度スペクトルd xiを書き込む。続いて、上記第1実施例と同様に、分類演算部32及び分類判定部34で分類判定を行なう。

【0066】ここまでの操作を、分類モードとする。以上の多クラスの場合にも、異なる光源で良好な分類を行なうことができる。なお、本第2実施例に於いては、多クラスの中の任意の2クラスのデータからFS変換にて分類スペクトルを求めるようにしたが、クラス全ての情報を用いて分類スペクトルを求めても良い(これは、次の第3実施例としてさらに詳細に後述する)。

【0067】また、分類を何ステップかに段階的に行なっても良い。例えば、10クラスの分類を行なう場合には、まず5クラスずつの2クラスに分ける分類スペクトルにより分類を行ない、その分類された結果に応じてさらに細かく分類するための分類スペクトルを選択し、分類するようにしても良い。このように多段的に行なうことにより、さらに分類精度を向上させることができる。

【0068】【第3実施例】次に、本発明の第3実施例

として、多クラス (n クラス) のものの分類を行なう別の色分類装置について説明する。本実施例の色分類装置は、分類演算部 32 の構成が前述した第 2 実施例と異なっている。

【0069】即ち、この分類演算部 32 は、図 12 に示すように、切り替えスイッチ "D" 72 と、分類空間へ投影するための変換行列を求める変換行列算出部 74 と、この変換行列算出部 74 で求めた変換行列を書き込*

$$J = \text{tr} (S_2^{-1} S_1)$$

(但し、 $\text{tr} (X)$ は、行列 X のトレース (対角成分の和))

を最大にするような変換行列 A を求めることである。

【0071】この A は、次のように求められる。ここで、 dim を i 番目のクラスの m 個目のデータ (ベクトル)、 $\underline{d_i}$ を i 番目のクラスの平均データ (ベクトル)、 \underline{d} を全クラスの平均データ (ベクトル) とする。また、 I を単位行列、 W_i を i 番目のクラスのデータで構成される残差行列 ($W_i = (\underline{d_{i1}} - \underline{d_i} \quad \underline{d_{i2}} - \underline{d_i} \quad \dots$)

$$S_2 V = V \Gamma, V^t V = I$$

$$V^t S_2 V = \Gamma$$

ここで、

$$(W_t^t W_t) E = E \Lambda$$

この両辺に W_t を左から掛けると

$$(W_t W_t^t) W_t E = (W_t E) \Lambda$$

これと上記 (14) 式を比較して $V = W_t E$ 、 $\Gamma = \Lambda$ 次 ★【0073】に、 S_2 を白色化する。★

$$U^t S_2 U = I$$

ただし

$$U = W_t E \Lambda^{-1}$$

同様に、 S_1 についても

$$U^t S_1 U = D$$

そして、 D の固有値問題を解く。

$$D \Psi = \Psi \Theta, \Psi^t \Psi = I$$

$$\Psi^t D \Psi = \Theta$$

$$(\Psi^t U^t) S_1 (\Psi U) = \Theta$$

これは、

$$Z = (\Psi^t U^t) X$$

と変換したときの Z の S_1 に相等する。この変換により ◆【0075】 S_2 は白色化される。◆

$$(U^t \Psi^t) S_2 (U \Psi) = \Psi^t I \Psi = \Psi^t \Psi = I \quad \dots (25)$$

$$A = \Psi^t U^t = \Psi^t \Lambda^{-1} E^t W_t^t \quad \dots (26)$$

各クラスの対象物の反射分光スペクトルに (26) 式で表せられる変換行列 A を掛けることで、多クラスの分類が可能となる。

【0076】次に、本第 3 実施例の色分類装置を使った色分類について説明する。本実施例も、上記第 1 及び第 2 実施例と同様に、まず学習モードを行ない、次に分類モードを行なう。

【0077】まず、学習モードについて説明する。即ち、多クラスの対象物を前述の第 1 実施例と同様に撮

* む変換行列メモリ 76 と、この変換行列を用いて分類空間へ投影するための変換部 78 とで構成されている。

【0070】まず、本第 3 実施例で用いる分類手法 (HTC) について説明する。HTC (Hotelling trace criterion) は、多クラスのものを分離する手法で、具体的には、対象物の反射分光スペクトルを変換行列 A で変換したときの S_1 をクラス間共分散行列、 S_2 をクラス内共分散行列として、HTC

$$\dots (13)$$

10※ $\dots \text{dim} - \underline{d_i})$ 、 W_t を全データで構成される残差行列 ($W_t = (\underline{d_1} - \underline{d} \quad \underline{d_2} - \underline{d} \quad \dots \quad \underline{d_n} - \underline{d})$)、 E を $(W_t^t W_t)$ の固有ベクトル行列、 Λ を $(W_t^t W_t)$ の固有値行列、 U を S_2 を白色化する行列、 V を S_2 の固有ベクトル行列、 Γ を S_2 の固有値行列とする。

【0072】まず、次の固有値問題を解く。なお、 $S_2 = W_t W_t^t$ である。

$$\dots (14)$$

$$\dots (15)$$

$$\dots (16)$$

$$\dots (17)$$

$$\dots (18)$$

$$\dots (19)$$

$$\dots (20)$$

$$\dots (21)$$

$$\dots (22)$$

$$\dots (23)$$

$$\dots (24)$$

像、補正し、輝度スペクトルメモリ "dts" 44、に輝度スペクトル $d s^i$ (但し、 $s = 1 \sim n$ 、 $i = 1 \sim 5$) を書き込む。ここで、 s はクラス番号、 m はサンプル番号、 i はフィルタ番号とする。

【0078】次に、分類演算部 32 の切り替えスイッチ "D" 72 を b 側に切り替えて、輝度スペクトルメモリ "dts" 44、から輝度スペクトル $d s^i$ を読み込んで変換行列算出部 74 で上記で説明した HTC を用いて変換行列を求め、変換行列メモリ 76 に書き込む。この

変換行列をAとする。

【0079】次に、切り替えスイッチ“D”72をa側に、また切り替えスイッチ“C”60をb側に切り替えて、輝度スペクトルメモリ“dts”44、から輝度スペクトルd s^m i”を読み出し、さらに変換行列メモリ76*

$$[t1^m \quad t2^m \quad t3^m \quad t4^m \quad t5^m]^T = A \cdot d s^m i$$

…(27)

この掛け算では、輝度スペクトルの次元数は変化せず、この場合は5次元のままであり、この5次元のデータ

【0081】

【数11】

$$t1^m, t2^m, t3^m, t4^m, t5^m$$

が分類のための評価値として分類境界決定部62へ転送される。なお、この(27)式に於いては、Tは転置を表す。分類境界決定部62で、図9の(B)に示すように分類境界を決定し、分類境界メモリ“cl”64に書き込む。

【0082】以上ここまでの、学習モードである。次に、分類モードについて説明する。前述した第1実施例※20

$$[t1^m \quad t2^m \quad t3^m \quad t4^m \quad t5^m]^T = A \cdot d x i$$

…(28)

なる

【0084】

【数13】

$$t1^m, t2^m, t3^m, t4^m, t5^m$$

が分類決定部66へ送られる。そして、分類境界メモリ“cl”64から分類境界を読み出し、分類決定部66へ転送された値が、図9の(B)の分類境界中のどこにあるかを分類判定する。

【0085】ここまでの操作を、分類モードとする。以上のように、HTCを用いることにより、多クラスの場合に於いて最適な分類のための変換行列を求めることができる。

【0086】また、本第3実施例では、分類を5次元で行うようにしたが、適当に次元を落とし(例えば2次元)、分類境界を求めるようにしても良い。なお、ここまで説明した第1乃至第3実施例では、バンドパスフィルタの通過帯域は任意に定められていた。つまり、既に市販されている任意のフィルタを利用することができ、回転色フィルタ12を安価に製作することが可能である。

【0087】[第4実施例]次に、前述の第1乃至第3実施例とは異なり、回転色フィルタ12の帯域を分類したい対象物に応じて最適に求めるようにした色分類装置を、本発明の第4実施例として説明する。

【0088】本第4実施例の色分類装置の構成は前述した第1実施例と同様であり、ここでは、最適な分類フィルタを計算する処理法について説明する。図13の

*から変換行列Aを読み出し、変換部78でそれぞれの輝度スペクトルd s^m i”に変換行列Aを掛ける。つまり、

【0080】

【数10】

※と同様に、分類したい対象物Oを撮像、補正し、輝度スペクトルメモリ“dt1”44、に輝度スペクトルd xiを書き込む。続いて、上記第1実施例と同様にして、分類演算部32の切り替えスイッチ“D”72をa側に、また分類判定部34の切り替えスイッチ“C”60をa側に切り替えて、輝度スペクトルメモリ“dt1”44、から輝度スペクトルd xi”を読み出し、さらに変換行列メモリ76から変換行列Aを読み出し、変換部78で輝度スペクトルd xi”に変換行列Aを掛け、その結果(値)を分類決定部66へ転送する。つまり

【0083】

【数12】

$$[t1^m \quad t2^m \quad t3^m \quad t4^m \quad t5^m]^T = A \cdot d x i$$

…(28)

(A)は、最適化フィルタを求めるための装置の構成を示す図で、対象物の反射分光スペクトルを測定するための分光計80と、最適なフィルタを見つけるためのフィルタ最適化演算回路82と、参照板データメモリ84 W、クラス1データメモリ84 A、クラス2データメモリ84 Bと、フィルタパラメータメモリ86 A、分類スペクトルd1メモリ86 B、分類スペクトルd2メモリ86 Cとから構成されている。本第4実施例では、分光計80を利用して、対象物Oのスペクトルを細かい間隔で撮影し(例えば5nm)、このデータから複数枚(5~10枚)の最適なバンドパスフィルタを決定する。

【0089】まず、図13の(A)に示すように、クラス既知の2クラスの対象物Oの反射分光スペクトル及び参照板Rの反射分光スペクトルを分光計80に撮影し、データd s^m (λ)としてデータメモリ84 A、84 Bに書き込む。但しここで、sはクラス番号(s=0が参照板、s=1がクラス1、s=2がクラス2)、mはサンプル番号である。

【0090】以降の処理はすべてフィルタ最適化演算回路82のなかで行なわれるもので、これを図14に示すフローチャートに沿って説明する。まず、回転色フィルタ12を構成するバンドパスフィルタのパラメータの初期値を設定する(ステップS1)。このパラメータは、図13の(B)に示すように、フィルタの枚数(k枚)、各フィルタの中心波長(λ_i)、各フィルタの帯域幅(w_i)、各フィルタの透過率(t_i)であり、全部でフィルタの枚数×3個である。なおここで、iはフ

フィルタ番号 ($i = 1 \sim k$) である。

【0091】その後、まず、クラス1の1つの対象物Oの反射分光スペクトル $d1^1(\lambda)$ について、バンドパスフィルタを通したデータに変換する。具体的には、1*

$$df1^1(1) = \left(\int_{\lambda-W1/2}^{\lambda+W1/2} d1^1(\lambda) d\lambda \right) / W1$$

...(29)

を行なう。続いて、2枚目、3枚目、...、k枚目と行ない、他のサンプルの反射分光スペクトルについても上記の操作を行なって、 $df1^i$ を求める。そして、この操作を、クラス2の対象物Oの反射分光スペクトル及び参照板Rの反射分光スペクトルについても行ない、 $df2^i$

(i) と $dfs(i)$ とを求める。以上の操作を、本第4実施例では、スペクトル変換と呼ぶ(ステップS2)。

【0093】このようにして得たデータ $df1^i(i)$ 及び $df2^i(i)$ (但し、 $i = 1 \sim k$, $m = 1 \sim N$) を参照板Rのデータ $dfs(i)$ で補正し(ステップS3)、※

$$C = Ca \times \text{Fisher ratio} + Cb \times \text{snr} + Cc \times \sum_{i=1}^k df1(i)$$

...(30)

ここで、 Ca 、 Cb 、 Cc は、適当な重み係数である。そして、この分類評価値Cとそのときのフィルタのパラメータを、フィルタパラメータメモリ86Aに書き込む(ステップS5)。

【0096】次に、フィルタのパラメータの1つを変更し(ステップS6)、再び対象物Oの反射分光スペクトルを用いて上記のようにスペクトル変換を行ない(ステップS7)、参照板Rのデータで補正する(ステップS8)。そして、この新たに求められたデータを用いてFS変換を行ない、分類スペクトル $d1$ 、 $d2$ を求め(ステップS9)、分類評価値 C_{new} を求める(ステップS10)。

【0097】このとき、フィルタパラメータメモリ86Aに書き込まれている分類評価値Cを読み込み、 C_{new} とCの大きさを比較する(ステップS11)。その結果、 C_{new} がCよりも大きければ、フィルタパラメータメモリ86Aの分類評価値 C_{new} をCに更新すると共にこのときのフィルタのパラメータを更新し、また分類スペクトル $d1$ 、 $d2$ の値をそれぞれ分類スペクトル $d1$ メモリ86B、分類スペクトル $d2$ メモリ86Cに書き込む(ステップS12)。反対に、 C_{new} がCより小さければ、フィルタのパラメータを変更前の状態に戻す(ステップS13)。

【0098】そして、フィルタのパラメータをすべて変更したか否かを判断し(ステップS14)、変更し終えた場合には処理を終了し、変更し終えていない場合には

*枚目のフィルタについて

【0092】

【数14】

※FS変換を行なって分類スペクトルを求める(ステップS4)。

【0094】そして、この求めた分類スペクトルからFisher ratioを計算し、分類評価値Cを求める。分類評価値Cは、このFisher ratioの他、センサのS/N比snrや対象物Oの輝度等を考慮した値で、例えば次式である。

【0095】

【数15】

上記ステップS6に戻って、再びパラメータを変更する。

【0099】なお、分類評価値が所定の値を越えたら処理を中止するようにしても良い。以上のようにして、回転色フィルタ12のバンドパスフィルタのパラメータ及び分類スペクトル $d1$ 、 $d2$ が求まる。そして、この特性を有するバンドパスフィルタを製作し、以後は前述の第1実施例等と同様に、学習モードにて分類境界を求め、分類処理を行うことができる。ただし、上記第1実施例と異なり、分類スペクトル算出部48は不用となる。

【0100】また、上記フローチャートに於いては、ステップS11では単純に C_{new} がCより大きい時のみステップS12に進むようにしているが、 C_{new} がCより小さい時にもある確率でステップS12に進むようなSimulated Annealing法を用いることにより、グローバルな最適値を求めることができる。

【0101】また、多クラス(n クラス)の分類に対して同様の処理を行うこともできる。この場合は、任意の2クラスを選択し、上述したFS変換を利用する。そして、分類評価値Cは2クラスの分類の分離具合を調べるFisher ratio、多クラスの分類の分離具合を表すHTC値、センサのS/N比snr、対象物の輝度df等を考慮した値で、例えば次式である。

【0102】

【数16】

21

$$C = C_a \times \text{Fisher ratio} + C_b \times \text{HTC}$$

$$+ C_c \times \text{snr} + C_d \times \sum_{i=1}^k \text{dfl}(i)$$

…(31)

但しここで、 C_a 、 C_b 、 C_c 、 C_d は、適当な重み係数である。

【0103】また、任意の2クラスを選択したFS変換ではなく、前述した第3実施例で説明したような変換行列を求めた上で、上述の分類評価値を利用しても良い。

〔第5実施例〕次に、本発明の第5実施例を説明する。前述の第4実施例に於いては、各フィルタの透過率(t_i)もパラメータとして最適化した。しかし、撮影時の*

$$t_i = C / (L_{iave} * W_i)$$

但しここで、 C は定数、 W_i はフィルタの帯域幅、 L_{iave} はその帯域における対象物の平均輝度である。これを模式的に図示すると、図15に示ようになる。

【0105】また、ダイナミックレンジを向上させる別の手段として、露光時間を変化させても良い。この場合には、各フィルタの画像を撮像する度にCCDのシャッタ速度を変化させたり、光学系10の絞りを変化させる。

【0106】また、図2の(C)に示したような回転色フィルタ12を用いる場合には、図16のように光の遮光部分(即ち、各フィルタ)の大きさを、露光量に応じて変化させるようにしても良い。

【0107】〔第6実施例〕次に、本発明の第6実施例を説明する。上述した実施例は光源が変化するのに対応したものであったが、限定されている光源の場合には、より簡単に最適化を行なうことができる。そこで、光源が限定されている場合の2クラスのものの分類を行なう色分類装置を、本発明の第6実施例として説明する。*

$$d_1' = U_1(\lambda) + U_2(\lambda) + U_3(\lambda) + \dots + U_m(\lambda)$$

$$d_2' = V_1(\lambda) + V_2(\lambda) + V_3(\lambda) + \dots + V_n(\lambda)$$

…(33)

のように、バンドパスフィルタ $U_i(\lambda)$ (但し、 $i = 1 \sim m$)、 $V_j(\lambda)$ (但し、 $j = 1 \sim n$)にて表し、次の評価値 C_1 、 C_2 を最小とする $U_i(\lambda)$ 、 V_j ★

$$C_1 = |d_1 - d_1'|^2$$

$$C_2 = |d_2 - d_2'|^2$$

なお、上記第4実施例で示したように、評価値にさらにFisher RatioやS/Nを考慮するようにしても良い。

【0111】このようにして、分類スペクトル d_1 、 d_2 を近似するべき複数のバンドパスフィルタが算出され、図17の(B)に示すように、回転色フィルタ12として構成される。

【0112】また、分類演算回路28は、図18のように構成される。まず、輝度成分抽出部30は、光源の補正が不要のためメモリ40A、40B及び補正回路42が無くなり、輝度スペクトルはダイレクトに輝度スペク

22

*ダイナミックレンジを考慮した場合には、この透過率は対象物の輝度にあわせて決めた方が好ましい。例えば、被写体の輝度が高い帯域では透過率を下げ、また、被写体の輝度が低い帯域では透過率を上げた方がダイナミックレンジが大きくなり、撮像時のS/Nが向上する。そこで、次式で示すような値に設定する。

【0104】

【数17】

…(32)

※【0108】即ち、光源が限定されている場合には、参照板Rによる補正が不要なため、分光計で撮影された次元でFS変換を行ない、理想的な分類スペクトルを算出でき、このフィルタから実用的な次元数の少ないフィルタを算出できる。図17の(A)には、全体のフィルタ算出までの構成図を示す。

【0109】分類スペクトル算出部48は、前述した第1実施例と同様なものであり、FS変換により分類スペクトル d_1 、 d_2 を算出する。ただし、次元数は、分光計80で撮影されるスペクトルの次元数だけであり、フィルタ演算回路88では、この分類スペクトル d_1 、 d_2 を近似するべき複数のバンドパスフィルタが算出される。この算出には、前述した第4実施例で述べたような逐次的な処理を用いることができる。例えば、実現したい分類スペクトル d_1 、 d_2 を適当なバンドパスフィルタの線型結合として近似する。分類スペクトル d_1 、 d_2 を近似するスペクトル d_1' 、 d_2' を

★(λ)を逐次的に求める。

【0110】

…(34)

トルメモリ“dta”44A及び“dtb”44Bに記憶される。また、分類演算部32は、単純な累積加算回路となり、累積加算値 t_1 、 t_2 が分類判定部34へ送られる。分類判定部34は、上記第1実施例と同構成である。

【0113】本第6実施例のように、光源が限定された場合には、光源を補正する場合に比較して回路構成が大変にシンプルとなる。また、光源が数種類に限定されている場合には、図19に示すように、光源90を検出するための光源検出装置92を設け、その光源90の種類

に応じて、専用の回転色フィルタ12を交換するようなフィルタ交換部94を設けても良い。

【0114】〔第7実施例〕次に、図13の分類判定部34にニューラルネットワークを用い、複雑な分類判定を良好に行なうようにした本発明の第7実施例を説明する。この分類判定部34は、内積値 t_1 、 t_2 から対象物のクラス番号を出力するものであり、図20の(A)に示すように、2入力、1出力のニューラルネットワーク96と、その学習のための学習器98とにより構成す*

$$y = f(\sum w_i x_i + \theta)$$

但しここで、 x_i は端子 i への入力、 w_i は端子 i の重み係数、 θ はバイアス値である。また、 f は、次式のよ※

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-x})$$

このニューラルネットワーク96には、重みメモリ106からそれぞれのクラス決定に必要な重み係数とバイアス値が、中間層及び出力層の各ユニット102A~102N及び104に与えられるように構成されている。

【0118】そして、学習モード時には、学習器98によりクラス番号がニューラルネットワーク96から出力されるように、ラメルハート等が考案した一般化デルタルール学習法(「PDPモデル・認知科学とニューロン回路網の探索」第8章、D. E. ラメルハート、J. L. マクレランド、PDPリサーチグループ著、甘利俊一監訳、産業図書、1989)により学習が行なわれ

る。
【0119】このニューラルネットワークを用いることにより、その分類境界が複雑な場合や、多クラスの場合にも容易に分類判定を行なうことができる。また、現在人間が経験的に行なっている分類も、ニューラルネットワークを利用することにより、容易に実現することがで

きる。
【0120】なお、ニューラルネットワークで学習を行なう際には、学習に適さないデータを取り除くための前処理回路を設けても良い。また、ニューラルネットワークは、その実行時に於いて時間がかかることから、図20の(B)に示すように、学習により得られたニューラルネットワーク96を利用して、2入力1出力の分類テーブル108を作成し、実行時にこの分類テーブル108を用いることもできる。この場合には、分類テーブル108の作成のためのテーブル作成回路110を利用す

る。
【0121】また、異なる分類目的には改めて学習を行なうことになるが、この場合は、重みメモリ106の値だけが異なる。そこで、分類目的毎に学習をして、異なる重みメモリに記憶しておき、実行時に、分類目的に応じて重みメモリを選択する又は分類テーブルを選択する構成としても良い。

【0122】〔第8実施例〕前述の実施例では、主に回転色フィルタ12により分類を行なう色分類装置であったが、この場合、対象物Oが動いたときに、各フィルタ

＊ることができる。

【0115】このニューラルネットワーク96は、内積値 t_1 、 t_2 の値が、入力層のユニット100A、100Bに入力する。これら入力層のユニット100A、100Bは、入力した信号をそのまま中間のユニット102A~102Nに分配する。中間のユニット102A~102N及び出力層のユニット104は、複数の入力端子と1個の出力端子を有している。

【0116】各ユニットは次式の処理を実行する。

$$\cdots (35)$$

※うなシグモイド関数である。

【0117】

$$\cdots (36)$$

で撮像された画像にずれが生じる。上記第1実施例では、輝度成分抽出部30にて、ある範囲の平均を求めるようにしたため、このずれが平均する大きさに対して小さい場合は実用上問題はない。しかし、高速に動く対象物を撮像する場合や、対物物が小さく十分平均する範囲を確保できない場合は、このずれが問題となってくる。そこで、このずれの影響を除去する方法を、本発明の第8実施例として説明する。

【0123】即ち、図21の(A)に示すように、輝度成分抽出部30に、マスク回路112A、112B、112Wを設ける。このマスク回路112A、112B、112Wは、図21の(B)に示すように、2次元画像の周辺に近いほど振幅が小さくなるような1種のフィルタである。画像にずれが生じる場合画像の周辺部ほど異なるパターンが周りから入りこむため、このようなマスク処理することによりずれの影響を軽減することができる。このマスクとしては、例えばガウシアン関数を近似したものを用いる。この方法は、簡単な処理で大きな効果を得ることができる。

【0124】また、図22の(A)示すように、画像ずれ補正回路114を用いる。この画像ずれ補正回路114は、各フィルタ12A~12Eで撮像された画像のずれを補正するもので、具体的には、図22の(B)に示すように構成される。即ち、この画像ずれ補正回路114は、フレームメモリ116と、相関演算に用いる参照画像を記憶する参照エリアメモリ118、相関演算を行なう相関回路120と読み出し制御回路122にて構成される。このような構成に於いて、フィルタを通して撮像された画像は、まずフレームメモリ116に記憶されると共に、その1部が参照エリアメモリ118に記憶される。そして、続いて撮像される別のフィルタを通して得られた画像がフレームメモリ116に記憶され、相関回路120にて、参照エリアメモリ118に記憶されている参照画像との間で相関演算が行なわれる。この相関演算は、差の絶対値和を比較する方法等により行なわれ、2画像連続したフィルタ画像間でのずれ量が得られる。そして、このずれ量に基づいて、読み出し制御回路

122にて、最初に撮像した画像に合わせるようにフレームメモリからの読み出し位置を制御することにより、画像間のずれを補正することができる。この方法は、対象物が小さい場合でも有効である。

【0125】また、画像を細かいブロックに分割し、ブロック毎にずれ量を求め、これを補正することにより、画像中の1部分が動く場合でも、ずれを補正することができる。

【0126】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば、装置構成が簡単で、低コストで、且つ機械的振動等にも耐えられ、しかも光源を限定せずにそのスペクトルが変化する場合などにも良好に色分類可能な色分類装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の色分類装置の構成を示す図である。

【図2】(A)は第1実施例の色分類装置に使用される回転色フィルタに使用される複数のバンドパスフィルタの特性を示す図であり、(B)及び(C)はそれぞれ回

転色フィルタの構成を示す図である。

【図3】図1中の分類演算回路のブロック構成図である。

【図4】図3中の輝度成分抽出部の構成を示す図である。

【図5】(A)及び(B)はそれぞれ図4中の補正回路の構成を示す図であり、(C)は図3中の分類演算部及

び分類判定部の構成を示す図である。

【図6】2クラスの対象物を示す図である。

【図7】第1実施例の色分類装置が学習モードで決定する分類境界を示す図である。

【図8】分類したいクラス未知の対象物を示す図である。

【図9】(A)は第1実施例に於ける分類演算部の別の構成例を示す図であり、(B)は本発明の第2実施例の色分類装置に於いて決定される分類境界を示す図である。

【図10】第1実施例の色分類装置の変形例を示す図である。

【図11】本発明の第2実施例の色分類装置に於ける輝度成分抽出部の構成を示す図である。

【図12】本発明の第3実施例の色分類装置に於ける輝度成分抽出部及び分類判定部の構成を示す図である。

【図13】(A)は本発明の第4実施例に於いて最適化フィルタを求めるための装置の構成を示す図であり、(B)は回転色フィルタを構成するフィルタのパラメータに関する図である。

【図14】図13の(A)中のフィルタ最適化演算回路の動作フローチャートである。

【図15】本発明の第5実施例に於ける各フィルタの透

過率の決め方を説明するための図である。

【図16】第5実施例に使用される回転色フィルタの構成を示す図である。

【図17】(A)は本発明の第6実施例に於いて最適化フィルタを求めるための装置の構成を示す図であり、

(B)は第6実施例に使用される回転色フィルタの構成を示す図である。

【図18】第6実施例の色分類装置に於ける輝度成分抽出部、分類演算部、及び分類判定部の構成を示す図である。

【図19】第6実施例の色分類装置の変形例を示す図である。

【図20】(A)及び(B)はそれぞれ本発明の第7実施例の色分類装置に於ける分類判定部の構成例を示す図である。

【図21】(A)は本発明の第8実施例の色分類装置に於ける輝度成分抽出部の構成を示す図であり、(B)は(A)中の各マスク回路の特性を示す図である。

【図22】(A)は第8実施例の色分類装置の構成を示す図であり、(B)は(A)中の画像ずれ補正回路の構成を示す図である。

【図23】従来の色判別装置に於ける分類スペクトルの特性を有するフィルタの構成を示す図である。

【図24】分類スペクトルを説明するための図である。

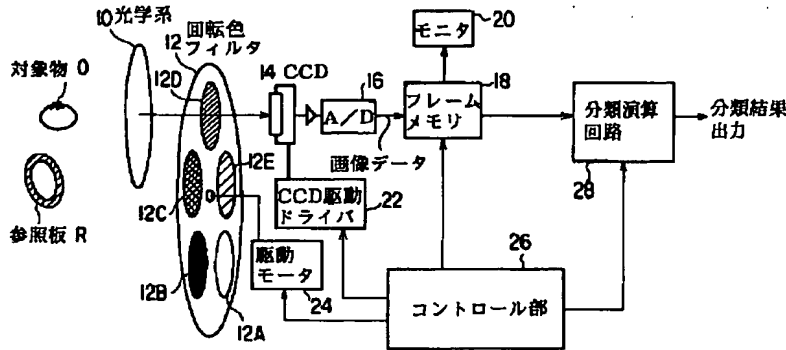
【符号の説明】

10…光学系、12…回転色フィルタ、12A～12E…バンドパスフィルタ、14…CCD、16…A/D変換器、18、116…フレームメモリ、20…モニタ、22…CCD駆動ドライバ、24…回転色フィルタ駆動モータ、26…コントロール部、28…分類演算回路、30…輝度成分抽出部、32…分類演算部、34…分類判定部34、36A、36B、36W、36₁～36₆…測定領域抽出部、38A、38B、38W、38₁～38₆…輝度成分平均化部、40A、40B、40W、40₁～40₆…輝度成分メモリ、42…補正回路、42₁…除算器、42₂…パワー正規化回路、44A、44B、44₁～44₆…輝度スペクトルメモリ、46、54、60、68、72…切り替えスイッチ、48…分類スペクトル算出部、50、52、86B、86C…分類スペクトルメモリ、56…積算器、58…累積演算部、58A…加算器、58B…ラッチ、62…分類境界決定部、64…分類境界メモリ、66…分類決定部、70…光路分割手段、74…変換行列算出部、76…変換行列メモリ、78…変換部、80…分光計、82…フィルタ最適化演算回路、84A、84B、84W…データメモリ、86A…フィルタパラメータメモリ、88…フィルタ演算回路、90…光源、92…光源検出装置、94…フィルタ交換部、96…ニューラルネットワーク、98…学習器、100A、100B、102A～102N、104…ユニット、106…重みメモリ、108…

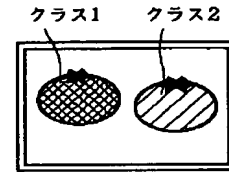
分類テーブル、110…テーブル作成回路、112A、
112B、112W…マスク回路、114…画像ずれ補
正回路、118…参照エリアメモリ、120…相関回 *

*路、122…読み出し制御回路、O…対象物、R…参照
板。

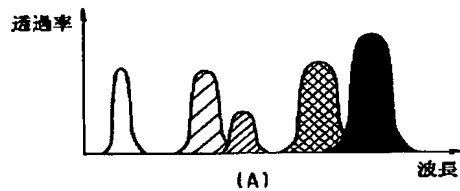
【図1】



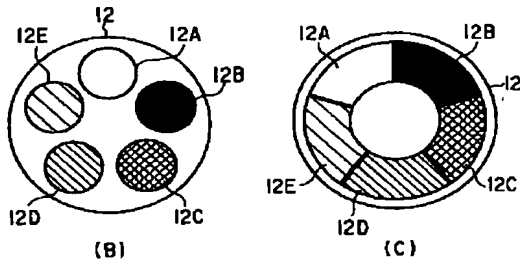
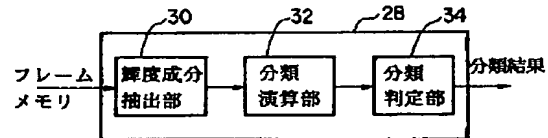
【図6】



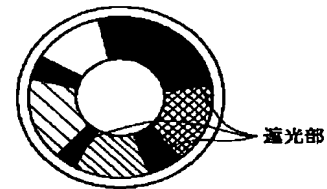
【図2】



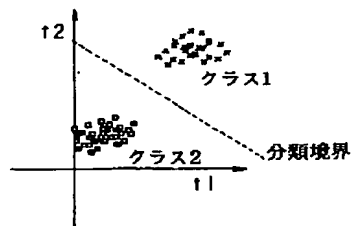
【図3】



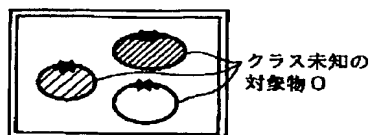
【図16】



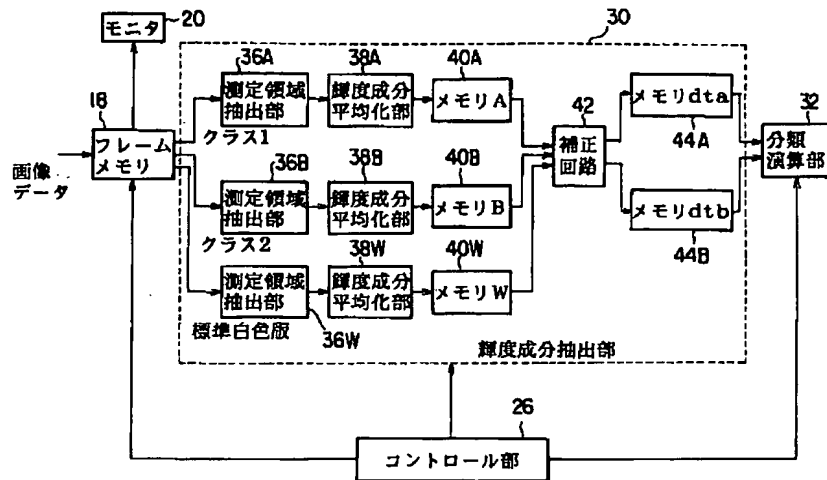
【図7】



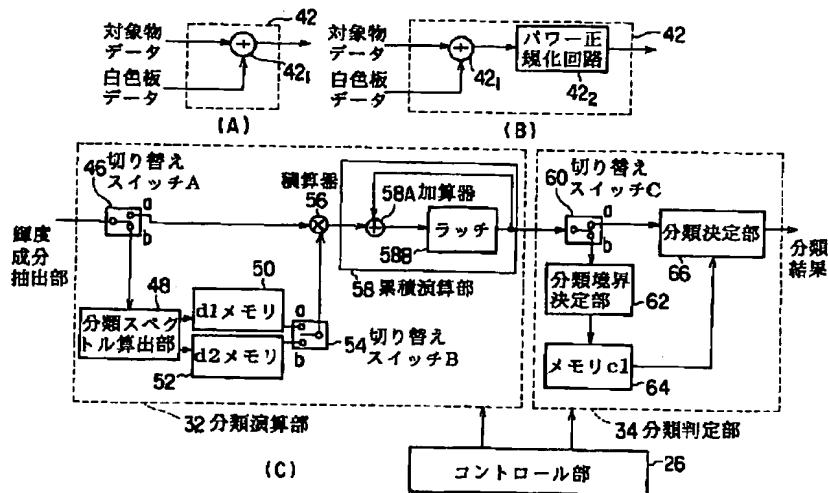
【図8】



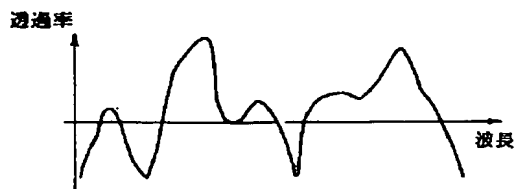
【図4】



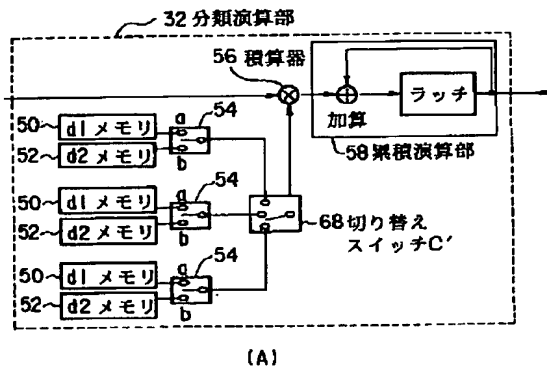
【図5】



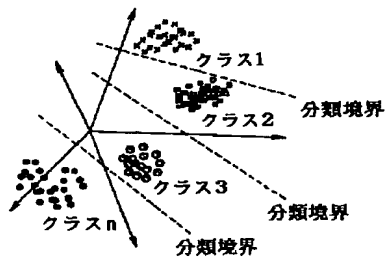
【図24】



【図9】

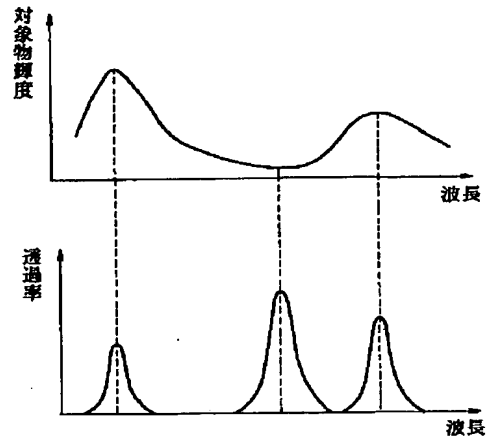


(A)

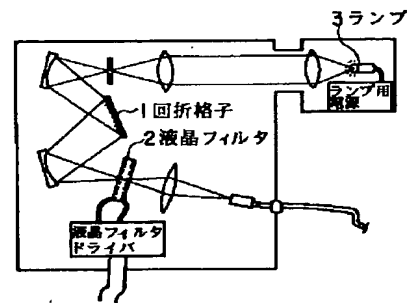


(B)

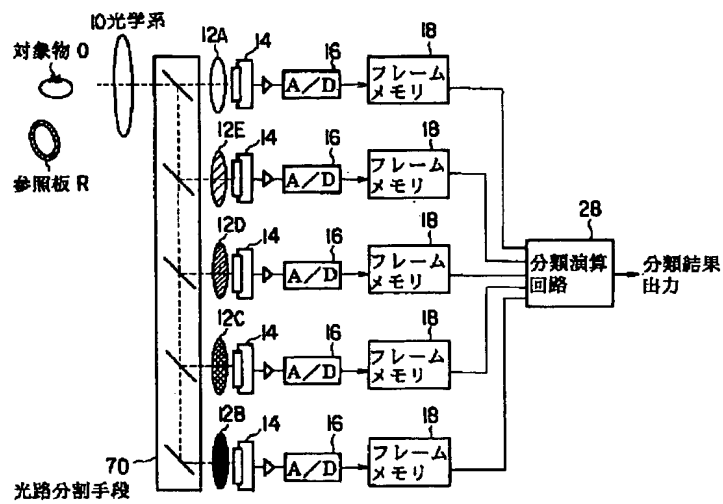
【図15】



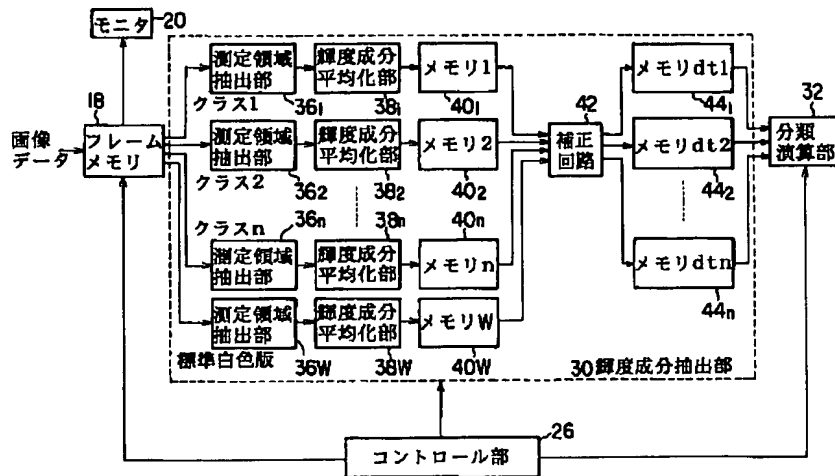
【図23】



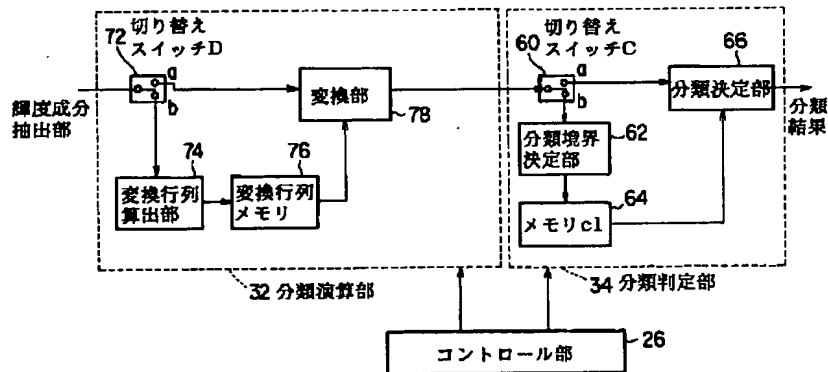
【図10】



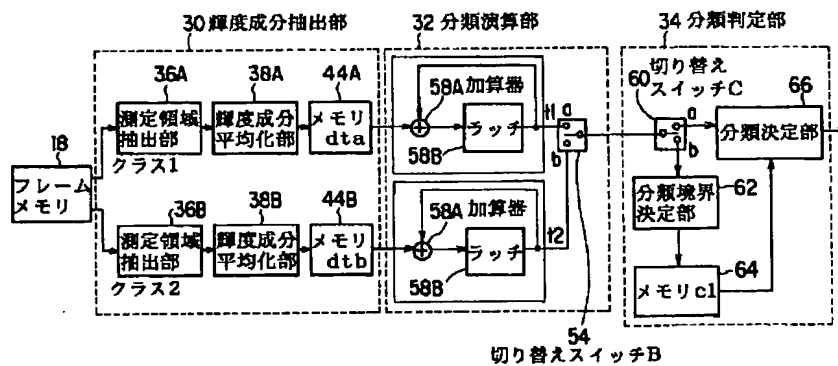
【図11】



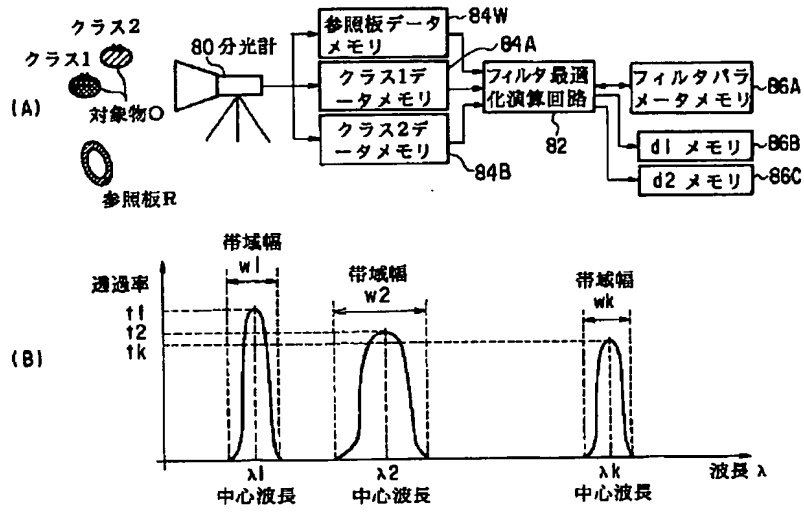
【図12】



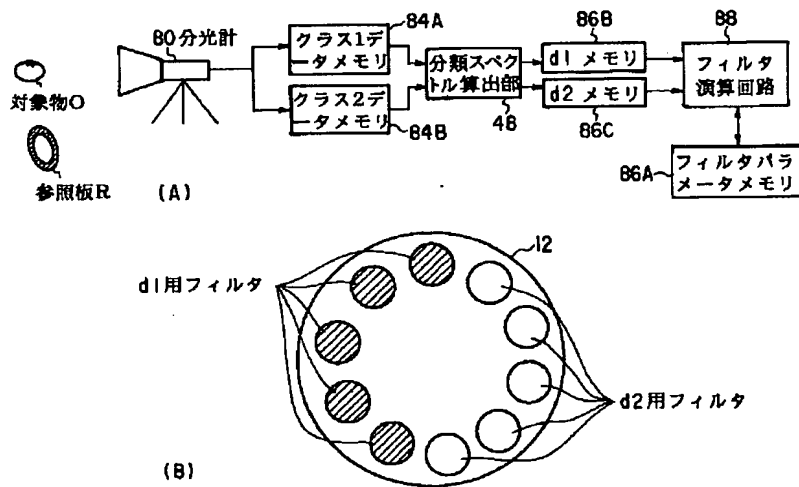
【図18】



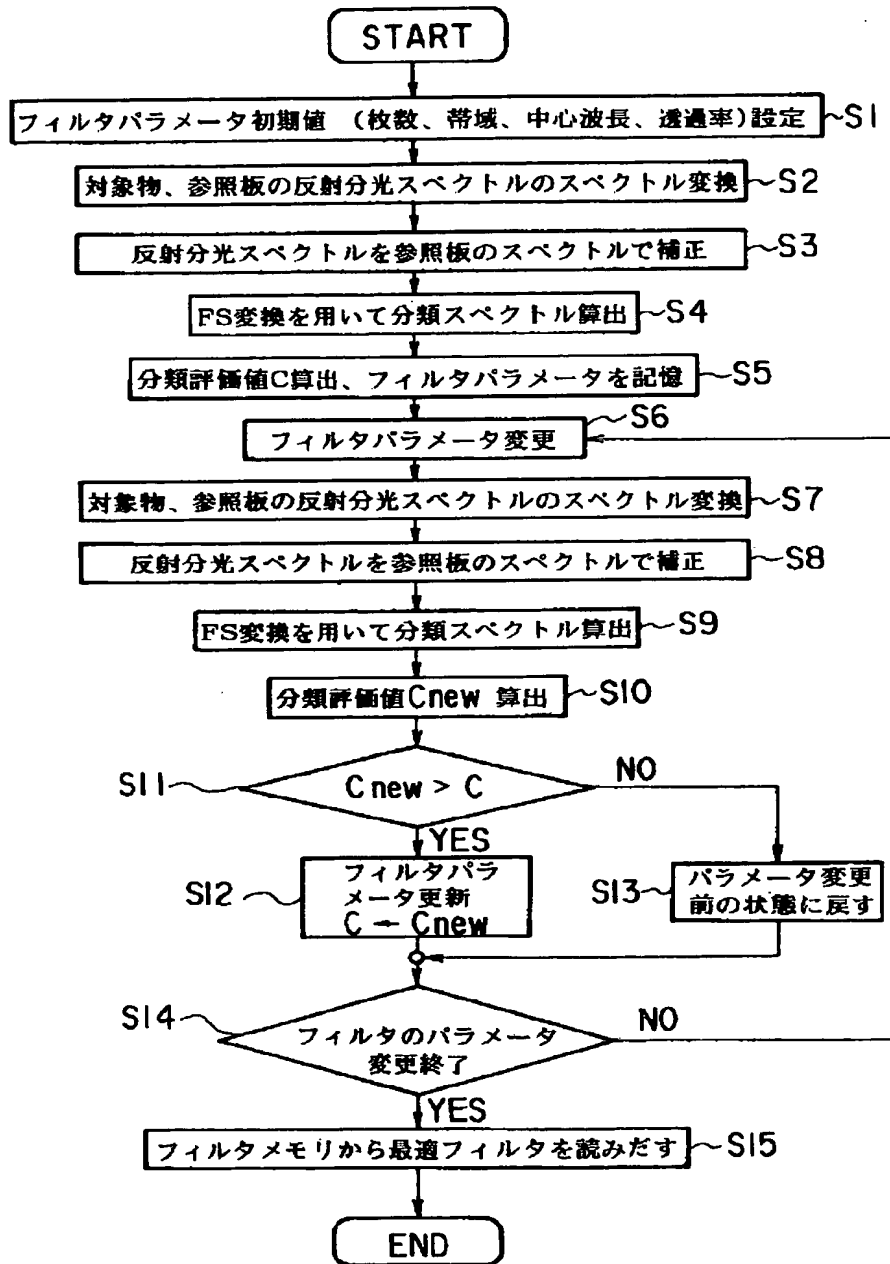
【図13】



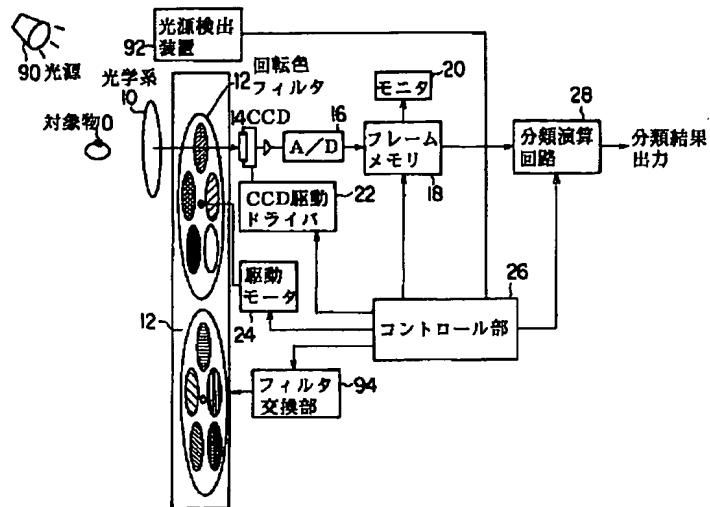
【図17】



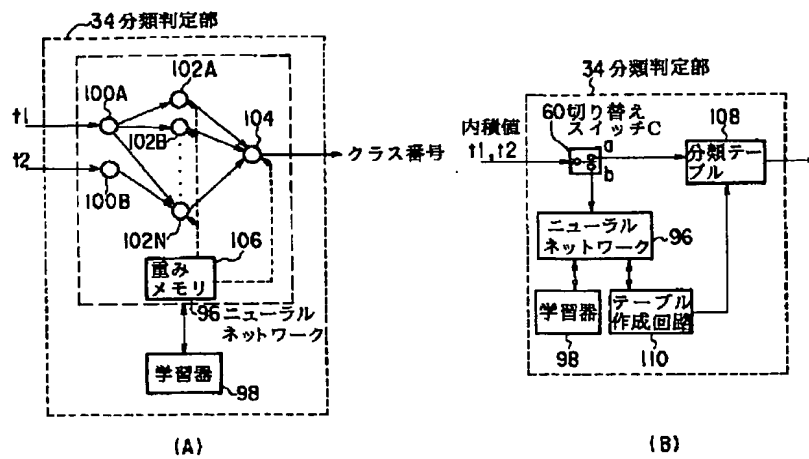
【図14】



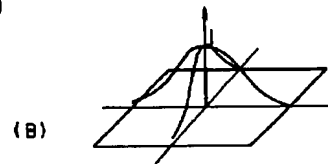
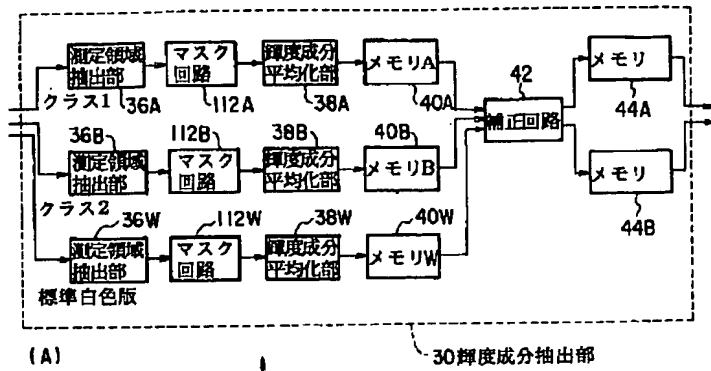
【図19】



【図20】



【図21】



【図22】

